

Estimasi Umur Harapan Pencapaian Keberhasilan Reforestasi (N. Puspaningsih et al.)

ESTIMASI UMUR HARAPAN PENCAPAIAN KEBERHASILAN REFORESTASI KAWASAN PERTAMBANGAN PT INCO, SOROWAKO, SULAWESI SELATAN

(Determining on Expectation of Reforestation Success Age at Mining Area, PT. INCO, Sorowako, South Sulawesi)

**Nining Puspaningsih¹⁾, Kukuh Murti Laksono²⁾, Naik Sinukaban²⁾,
I Nengah Surati Jaya³⁾, dan Yadi Setiadi⁴⁾**

ABSTRACT

Land rehabilitation of post-mining must be done with reforestation. Reforestation success in post-mining revegetation should refer the characteristics of natural forests. The success of the reforestation is expected to reach a climax forest ecosystem. How much time is needed to achieve the desired condition (success reforestation), in this case described as the age of achievement expectations of reforestation success to reach a climax forest ecosystem (the basalt area). The research is aimed to predict reforestation success age. The study used regression analysis for determining the reforestation success age in mining area. The measure used to determining the reforestation success age is basalt area (LBDS) of natural forests. Mathematically it can be summarized to $LBDS = f(\text{age})$. The study found the age of achievement expectations of reforestation success is 75 years. Over the 75 years when the efforts to improve, protect and enhance forest functions are be done well, consistently, and even continued to rise, certainly reforestation success will be achieved, or even faster.

Key words: rehabilitation, mining area, reforestation, basalt area, reforestation success age

PENDAHULUAN

Hutan hujan tropis primer merupakan suatu ekosistem yang sangat ideal dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, mempunyai siklus hara yang tertutup, stratifikasi tajuk yang tinggi, selalu hijau sepanjang tahun, dan bersifat konstan, yaitu hutan yang terus-menerus ada serta tahan terhadap gangguan. Selain bersifat konstan juga mempunyai sifat *self nutrient recovery*, yaitu dua per tiga nutrisi yang ada pada tanaman dilepas ke tubuh tanaman itu lagi sebelum tanaman tersebut menggugurkan daunnya. Dengan karakteristik tersebut, hutan hujan tropis mempunyai fungsi proteksi, konservasi, dan produksi. Fungsi proteksi adalah melindungi sistem penyangga kehidupan seperti mengatur tata air, mengendalikan erosi, mencegah banjir, dan menjaga kesuburan tanah. Fungsi konservasi adalah mempertahankan keanekaragaman hayati, mempertahankan keseimbangan ekosistem tanah, air, dan vegetasi, serta menjaga keseimbangan iklim khususnya iklim mikro.

¹⁾ Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB

²⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lingkungan, Fakultas Pertanian, IPB

³⁾ Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB

⁴⁾ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB

Untuk pemenuhan kebutuhan hidup manusia dan pembangunan, kerusakan hutan hujan tropis tidak terelakkan. Terjadinya deforestasi akibat proses pertambangan, pembalakan hutan, perkebunan, dan lain-lain tidak dapat dihindarkan. Deforestasi khususnya pada kawasan pertambangan menyebabkan lahan terdegradasi (*degraded land*) sangat tinggi bahkan menyebabkan lahan menjadi *derelict*, yaitu kondisi lahan yang mempunyai landform tidak stabil, tingkat erosi, dan sedimentasi yang tinggi, sangat terbatas kandungan air dan hara serta tidak ada lagi atau sedikit sekali *top-soil* dan *sub-soil*.

Rehabilitasi lahan bekas tambang harus dilakukan dengan menghutankan kembali (reforestasi). Keberhasilan reforestasi di kawasan revegetasi tambang mengacu pada karakteristik hutan alam. Tujuan reforestasi tambang adalah melakukan rehabilitasi lahan bekas pertambangan dengan tujuan mengembalikan kondisi lahan seperti sebelumnya. Oleh karena itu, kondisi tutupan lahan bekas tambang sebelumnya adalah hutan alam primer, reforestasi yang dilakukan diharapkan mencapai karakteristik hutan alam klimaks. Namun, untuk mencapai karakteristik seperti ini tidak memungkinkan sehingga keberhasilan reforestasi yang diharapkan dibatasi pada karakteristik struktur dan fungsi hutan alam klimaks.

Berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi yang diharapkan (keberhasilan reforestasi), dalam hal ini dinyatakan sebagai umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi dari pertama penanaman sampai menjadi seperti hutan alam klimaks (struktur dan fungsi). Pada penelitian ini prediksi umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi diukur menggunakan pendekatan ukuran biomassa tanaman. Oleh karena kandungan biomassa tanaman merupakan fungsi dari luas bidang dasar (LBDS) tegakan pada penelitian ini ukuran biomassa tanaman didekati dengan ukuran luas bidang dasar tegakan tanaman, dengan mengabaikan bahwa setiap jenis tanaman yang berbeda memiliki nilai LBDS maupun ukuran biomassa akan berbeda. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan memprediksi umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi. Penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam memantau keberhasilan reforestasi di kawasan pertambangan sampai mencapai hutan alam (rona awal) di daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kawasan Pertambangan Nikel PT INCO, Desa Soroako, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan. Lokasi penelitian secara geografis terletak pada 121°22'-121°26' Bujur Timur dan 2°32'-2°32' Lintang Selatan. Di lokasi tanaman tahun 1985 sampai dengan tahun 2008 seluas 3172 Ha, penelitian dilakukan di beberapa lokasi tanaman dari tahun tanam 1985, 1990, 2000 sampai dengan 2008 serta di hutan alam primer bukit Lembo, dengan luas area penelitian seluas 527,25 Ha.

Dengan asumsi bahwa waktu yang diperlukan untuk mengetahui keberhasilan reforestasi merupakan fungsi dari LBDS, pada penelitian ini ukuran LBDS di hutan tanaman digunakan untuk memprediksi umur keberhasilan reforestasi di hutan alam. Secara matematis dapat dirumuskan: $LBDS = f(\text{Umur})$.

Inventarisasi Vegetasi

Data pengukuran vegetasi digunakan untuk mendapatkan informasi tentang diameter batang. Pengukuran dilakukan pada plot sampel ukuran 20 x 20 m di area setiap tahun tanam dan hutan alam. Jumlah plot yang diukur di hutan tanaman sebesar 45 plot sampel, 30 digunakan untuk model dan 15 plot digunakan untuk validasi model, dan jumlah plot sampel yang diukur di hutan alam sebesar 13 plot sampel.

Luas Bidang Dasar Tegakan (LBDS)

Luas bidang dasar (LBDS) adalah rasio antara luas penampang diameter setinggi dada per satuan luas. Rumus matematis yang digunakan untuk menghitung nilai LBDS adalah

$$LBDS = \left(\frac{1}{4}\right)\pi d^2$$

dengan

LBDS = Luas bidang dasar tegakan; $\pi = 3,14$; d = Diameter pohon setinggi dada

Estimasi Umur Harapan Pencapaian Keberhasilan Reforestasi

Estimasi umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi dinyatakan dengan model hubungan antara LBDS dan umur diformulasikan dengan model persamaan regresi (Draper dan Smith, 1992) sebagai berikut:

Linear: $Y = aX + b$

Polinomial: $Y = aX^2 + bX + c$

Power: $Y = aX^b$

Eksponensial: $Y = a e^{bX}$

Logaritmik: $Y = a \ln(X) + b$, dengan Y adalah umur tanaman dan X adalah LBDS

Model estimasi tingkat keberhasilan reforestasi dilakukan validasi untuk menguji apakah model yang dihasilkan sesuai dengan fakta di lapangan. Pengujian model menggunakan analisis koefisien determinasi (R^2), simpangan agregat (SA), simpangan rata-rata (SR), *root mean square error* (RMSE) dan uji beda nyata (Khi Kuadrat) atau χ^2 hitung. Rumus yang digunakan (Spurr, 1952), adalah sebagai berikut:

$$SA = \left(\frac{\sum Ym_i - \sum Ya_i}{\sum Ym_i} \right)$$

$$SR = \left\{ \frac{\sum \left| \frac{Ym_i - Ya_i}{Ym_i} \right|}{n} \right\} \times 100\%$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{Ym_i - Ya_i}{Ya_i} \right)^2}{n}} \times 100\%$$

$$e = \left[\sum \left\{ \frac{\left(\frac{Ym_i - Ya_i}{Ya_i} \right)}{n} \right\} \right] \times 100\%$$

$$X^2_{hitung} = \sum \frac{(Ym_i - Ya_i)^2}{Ya_i}$$

dengan: Z_m = nilai indeks yang ditentukan dari model; Y_a = nilai indeks hasil observasi untuk uji validasi.

Model yang dihasilkan berdasarkan analisis regresi dapat diterima jika koefisien determinasi (R^2) cukup besar, simpangan agregat (SA) berada di antara nilai -1 dan +1, simpangan rata-rata (SR) tidak lebih dari 10 %, *root mean square error* (RMSE) cukup kecil, bias (e) rendah, dan uji beda nyata (Khi Kuadrat) atau $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Bidang Dasar Tegakan (LBDS)

Hasil perhitungan LBDS pada setiap umur di hutan tanaman di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai LBDS ($m^2 ha^{-1}$) pada tiap tahun tanam

| No | Nama bukit | Tahun tanam | Umur (tahun) | LBDS($m^2 ha^{-1}$) |
|-----|-------------|-------------|--------------|-----------------------|
| 1. | Koro north | 2007 | 1 | 7 |
| 2. | Ponsesa | 2006 | 2 | 6 |
| 3. | Olivia | 2005 | 3 | 56 |
| 4. | Koro south | 2004 | 4 | 30 |
| 5. | Tripel a | 2004 | 4 | 28 |
| 6. | Debi | 2002 | 6 | 117 |
| 7. | Hasan north | 2002 | 6 | 64 |
| 8. | Rante | 2002 | 6 | 47 |
| 9. | Ponsesa | 1999 | 9 | 120 |
| 10. | Butoh | 1985 | 23 | 141 |

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa pada kawasan reforestasi LBDS tertinggi ditemukan di Bukit Butoh tahun tanam 1985 atau umur 23 tahun dengan LBDS sebesar $141 m^2 ha^{-1}$. Yang memiliki LBDS terendah adalah di Bukit Ponsesa tahun tanam 2006 atau umur 2 tahun dengan LBDS sebesar $6 m^2 ha^{-1}$. Besar atau kecilnya nilai LBDS ini bergantung pada umur tanaman, yaitu semakin tua umur tanaman, semakin tinggi nilai LBDS. Jenis tanaman yang ditanam dan kegiatan penyulaman pada bukit-bukit reforestasi juga mempengaruhi besarnya nilai LBDS. Sebagai sampel di Bukit Debi pada umur 6 tahun mempunyai nilai LBDS sebesar $117 m^2 ha^{-1}$ dengan 11 jenis tanaman, yaitu akasia (*Acacia mangium*), sengon (*Paraserianthes falcataria*), betoh (*Arthocarpus nitidus*), blulang, Eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), jambu-jambu, johar (*Cassia siamea*), kayu angin (*Casuarina sp.*), kole (*Alpitomia incana*), dan kuray (*Trema amboinensis*).

Besar atau kecilnya nilai LBDS tergantung pada pertumbuhan tanaman. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman adalah kondisi bibit, cara penanaman dan pemupukan. Di daerah penelitian, bibit yang ditanam adalah bibit tanaman yang cepat tumbuh seperti sengon (*P. falcataria*), akasia (*A. mangium*), kayu angin (*Casuarina sp.*), eucalyptus (*E. urograndis*) dan tanaman pionir lokal seperti sandro (*Sandoricum kacappeae*) dan uru (*Elmerelia sp.*).

Penanaman dilakukan pada lubang tanam dengan ukuran lebar 60 cm, panjang 60 cm dengan kedalaman 60 cm. Pada setiap lubang penanaman ini dilakukan pengapuran dengan dosis 0,4 kg. Proses pengapuran dapat meningkatkan *pH* dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Menurut Suwarno *et al.*

(2003), *KTK* dan *pH* merupakan faktor yang mempengaruhi pengikatan, pengendapan, dan pergerakan ion ke akar, pencucian dan imobilisasi unsur-unsur hara tanaman atau faktor yang mempengaruhi kemampuan penyediaan hara bagi tanaman. Proses pengapuran dengan memakai limbah pembakaran batubara dicampur dengan bahan organik tanah dapat meningkatkan *pH* tanah. Pada area revegetasi tambang proses pengapuran dapat meningkatkan dan mempertahankan *pH* tersebut (Bern dan Wierzchowski, 2009).

pH dalam tanah merupakan reaksi tanah yang menyatakan derajat keasaman atau kebasaan tanah, dan sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. *pH* tanah sangat mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur hara tanaman. Semua unsur hara dalam larutan tanah tersedia dalam *pH* normal. Pengaruh tidak langsung terjadi apabila tanah sangat masam, mengakibatkan tanah bersifat racun misalnya pada tanah organosol di daerah rawa terdapat endapan pirit yang mengandung unsur *Al*, *Mn*, dan *Fe*, sedangkan kapasitas tukar kation (*KTK*) merupakan kemampuan (kapasitas) partikel-partikel koloid tanah dapat menukar atau mengabsorpsi kation-kation bebas dalam larutan tanah (Jamulya *et al.*, 1990). Di beberapa tempat di wilayah reforestasi tanahnya mempunyai *pH* agak masam, yaitu 5,9-6,5 dan netral, yaitu 6,5-6,9, sedangkan *KTK* mempunyai kategori rendah, yaitu kurang dari 6,23 me 100g⁻¹.

Selanjutnya setelah proses pengapuran, dilakukan pemupukan dengan 0.4 kg urea + 0.4 kg KCl + 0.4 kg P + 0.4 kg pupuk kandang dan 0.3 kg kompos. Proses pemupukan bertujuan meningkatkan unsur hara dalam tanah. Berdasarkan analisis laboratorium, kandungan unsur hara rata-rata di hutan tanaman sangat rendah, yaitu unsur hara N dan C sebesar 0,5%. Kandungan unsur hara P sebesar 2,7 ppm, sedangkan kandungan unsur hara Ca, Mg, K, dan Na sebesar 1.3 me 100g⁻¹. Unsur hara di hutan tanaman ini apabila dibandingkan dengan unsur hara di hutan alam tidak jauh berbeda, kecuali unsur hara P yaitu rata-rata nilai unsur hara N dan C sebesar 0,88%, sedangkan kandungan unsur hara Ca, Mg, K, dan Na sebesar 1.6 me 100g⁻¹. Unsur hara P mempunyai nilai sangat tinggi, yaitu 14,6 ppm.

Penanaman tumbuhan penutup tanah dilakukan untuk mempercepat pengembalian nutrisi organik ke tanah dari biomassa tumbuhan di sekitarnya, di samping juga untuk menjaga kelembaban tanah dan menekan laju pertumbuhan gulma disekitar pangkal pohon, serta dapat menahan laju erosi dan sedimentasi. Di lokasi penelitian pada awalnya digunakan uraso (*Sacharum* sp.), tetapi mulai tahun 2003, penggunaan uraso telah diganti oleh *signal grass* (*Brachiaria decumbens*). Bersamaan dengan itu, dilakukan juga secara bertahap penggantian uraso (*Sacharum* sp.) di lapangan dengan *signal grass* (*B. decumbens*) untuk tegakan tahun 2003 ke atas.

Signal grass (*B. decumbens*) digunakan karena memiliki sifat yang dapat cepat tumbuh menutupi lahan, dapat berkembang pada daerah yang miskin hara, dan dapat mengontrol erosi. Namun, penutupan tanah yang rapat mempunyai kelemahan, yaitu dapat menghambat terjadinya rekolonisasi. Pada tahun 2005, penggunaan *signal grass* (*B. decumbens*) diganti dengan kombinasi dari beberapa tanaman, yaitu *Leguminaceae*, Wynn cassia (*Chamaecrista rotundifolia*), burgundy (*Macroptilium bracteatum*), bermuda (*Cynodon dactylon*), dan WF millet (*Panicum miliaceum*). Menurut Hardjowigeno (1993), tanaman *Leguminaceae* dapat menambah N tanah, tidak berkompetisi dengan tanaman pokok, juga beberapa jenisnya sangat toleran terhadap tanah miskin.

Berdasarkan tempat tumbuh yang kondusif ini, beberapa jenis tanaman yang ditanam di daerah penelitian mempunyai persentase tumbuh yang sangat tinggi yaitu sebesar 96,3 persen (Tabel 3). Bahkan tanaman pionir lokal, yaitu sandro (*S. kacappeae*) dan uru (*Elmerelia* sp.) mencapai persen tumbuh 100% pada umur 3 tahun. Hal ini menandakan bahwa karakteristik lahan sudah cukup baik bagi tumbuhnya jenis-jenis lokal.

Tabel 2. Persen tumbuh untuk beberapa jenis tanaman di beberapa areal revegetasi

| No | Species | Rata-rata persen tumbuh |
|--------|---|-------------------------|
| 1. | Sengon (<i>Paraserianthes falcata</i>) | 98.2 |
| 2. | Kapuk (<i>Ceiba pentandra</i>) | 100.0 |
| 3. | Akasia (<i>Acacia mangium</i>) | 98.3 |
| 4. | Mangga (<i>Mangifera indica</i>) | 80.0 |
| 5. | Saga (<i>Adenanthra speciosa</i>) | 90.6 |
| 6. | Uru (<i>Elmerelia</i> sp.) | 98.9 |
| 7. | Sandro (<i>Sandoricum kacappeae</i>) | 100.0 |
| 8. | Eucalyptus (<i>Eucalyptus urograndis</i>) | 95.1 |
| 9. | Kemiri (<i>Aleurites molluccana</i>) | 96.5 |
| 10. | Sengon Buto (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>) | 99.1 |
| 11. | Johar (<i>Cassia siamea</i>) | 98.4 |
| 12. | Kayu Angin (<i>Casuarina</i> sp.) | 100.0 |
| Rerata | | 96.3 |

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman seperti kondisi bibit, cara penanaman, dan pemupukan seperti yang sudah dilakukan ini, apabila dilakukan secara konsisten atau bahkan meningkat akan dapat mempercepat proses pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan tanaman yang baik akan meningkatkan struktur tajuk.

Struktur tajuk mempunyai fungsi, antara lain, mencegah sinar matahari langsung masuk ke lantai hutan sehingga dapat mempercepat proses dekomposisi dan dapat mencegah erosi atau pencucian hara, menangkap dan menyimpan air, menciptakan habitat mikro bagi berbagai jenis satwa, dan menciptakan mekanisme ruang yang tinggi bagi berbagai macam spesies atau jumlah dan kepadatan spesies per satuan ruang yang tinggi (Setiadi, 2005).

Iklim mikro di dalam tajuk berbeda dengan di luarnya, cahaya lebih sedikit, kelembaban sangat tinggi, dan suhu lebih rendah. Banyak dari pohon yang lebih kecil berkembang dalam naungan pohon yang lebih besar dan di dalam iklim mikro inilah terjadi pertumbuhan. Di samping bentuk pohon, terjadi pertumbuhan berbagai macam jenis tumbuhan lain seperti liana, epifit, semak, dan herba.

Struktur tajuk yang kompleks merupakan habitat sejumlah komunitas satwa. Cabang-cabang dan kelimpahan daun merupakan sumber pakan dan tempat berkembangbiakan satwa. Semakin tinggi dan kompleks struktur tajuk, semakin meningkat pula keanekaragaman dan kekayaan satwa.

Stratifikasi tajuk dapat pula memungkinkan introduksi berbagai jenis satwa karena jenis-jenis satwa tertentu memiliki habitat dalam strata tajuk yang spesifik. Sampelnya jenis burung-burung pemangsa lebih menyukai untuk hidup membangun sarang dalam strata tajuk A atau B yang memiliki ketinggian lebih dari 25 meter dan mencari mangsa pada strata tajuk yang lebih rendah.

Pada penelitian ini struktur tajuk digambarkan oleh nilai kerapatan pohon, stratifikasi tajuk, dan persen penutupan tajuk (C%). Di hutan tanaman nilai kerapatan pohon, stratifikasi tajuk, dan persen penutupan tajuk (C%) bersifat linear

mengikuti umur tanaman. Semakin besar umur tanaman, semakin besar struktur tajuknya. Pada kawasan reforestasi nilai C% tertinggi ditemukan di Bukit Butoh tahun tanam 1985 atau umur 23 tahun dengan C% sebesar 66%. Besarnya indeks ini sedikit lebih kecil apabila dibandingkan dengan nilai C% di Bukit Lembo, pada hutan alam yaitu sebesar 72%. Yang memiliki indeks C% terendah adalah di Bukit Pongsesa tahun tanam 2006 atau umur 2 tahun dengan indeks C% sebesar 12%. Besarnya nilai indeks C% ini selain bergantung pada jumlah tanaman yang ditanam atau sudah dilakukan penyulaman pada bukit-bukit reforestasi tersebut, juga bergantung pada pertumbuhan tanaman tersebut. Semakin bagus pertumbuhan tanaman, akan semakin besar tajuknya.

Umur Harapan Pencapaian Keberhasilan Reforestasi

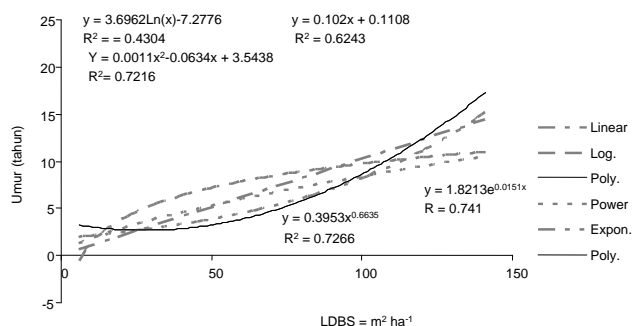
Dengan asumsi bahwa waktu yang diperlukan untuk mengetahui keberhasilan reforestasi bersifat prediktif, ukuran LBDS digunakan untuk memprediksi umur keberhasilan reforestasi di hutan alam. Secara matematis dapat dirumuskan $LBDS = f(\text{Umur})$.

Umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi didekati dengan model persamaan regresi hubungan antara LBDS (X) dan umur tanaman (Y). Berdasarkan Tabel 1 disusun model persamaan hubungan antara umur dan LBDS dengan menggunakan beberapa persamaan regresi. Hasil dari perumusan beberapa model persamaan regresi dapat dilihat pada Gambar 1 dan validasi model diberikan pada Tabel 3. Mengacu pada Tabel 3 dibuat urutan atau rangking dari validasi model penduga tersebut (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil validasi model

| No | Model | R ² | SA | SR | RMSE | E | y ² hitung | y ² tabel |
|----|--------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Linier | 72 | -0,072 | 12,369 | 42,545 | 20,104 | 11,758 | 16,919 |
| 2 | Polinomial | 75 | -0,124 | 8,875 | 20,747 | 7,900 | 10,496 | 16,919 |
| 3 | Power | 62 | 0,004 | 13,223 | 25,724 | 5,933 | 11,629 | 16,919 |
| 4 | Eksponensial | 71 | -0,097 | 9,341 | 22,772 | 7,506 | 6,946 | 16,919 |

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa persamaan regresi yang memberikan hasil validasi terbaik adalah persamaan *polynomial*, yaitu $Y = 0.0011X^2 - 0.0634X + 3.5438$, dengan Y adalah umur tanaman dan X adalah nilai LBDS. Berdasarkan Tabel 3, model ini juga merupakan model yang paling baik dengan jumlah nilai rangking terbesar (15) dari keempat model yang dicoba.



Gambar 1. Regresi antara LBDS ($m^2 ha^{-1}$) dan umur tanaman

Tabel 4. Hasil nilai rangking dari validasi model

| No | Model | R^2 | SA | SR | RMSE | e | Jumlah |
|----|--------------|-------|----|----|------|---|--------|
| 1 | Linier | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 9 |
| 2 | Polinomial | 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 15 |
| 3 | Power | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 12 |
| 4 | Eksponensial | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 14 |

Model yang dihasilkan berdasarkan analisis regresi dapat diterima apabila koefisien determinasi (R^2) cukup besar, simpangan agregat (SA) berada di antara nilai -1 dan +1, simpangan rata-rata (SR) tidak lebih dari 10%, *root mean square error* (RMSE) cukup kecil, bias (e) rendah, dan uji beda nyata (Khi Kuadrat) atau $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$. Berdasarkan hasil validasi pada Tabel 3, model penduga yang diestimasi dengan umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi dapat digunakan.

Di hutan alam dengan LBDS sebesar 284 m²/ha, dengan menggunakan model $Y = 0.0011X^2 - 0.0634X + 3.5438$ dapat diestimasi umur harapan pencapaian keberhasilan reforestasi adalah 74.25 tahun atau dibulatkan menjadi 75 tahun.

Keberhasilan reforestasi ditujukan untuk melakukan perbaikan atau pemulihan hutan yang rusak menjadi hutan klimaks. Dalam upaya untuk mengganti yang rusak atau memperbaiki sistem sampai terbentuknya ekosistem hutan klimaks, diperlukan waktu. Pada penelitian ini keberhasilan perbaikan hutan sampai terbentuknya hutan klimaks dibutuhkan waktu 75 tahun. Dalam kurun waktu 75 tahun apabila usaha-usaha dalam memperbaiki, mempertahankan, dan meningkatkan fungsi hutan tetap dilakukan dengan baik, konsisten, dan bahkan terus meningkat (misalnya melalui upaya-upaya percepatan proses suksesi, pertumbuhan, dorongan dengan alat atau modal, penemuan-penemuan metode baru), keberhasilan rehabilitasi dan reklamasi hutan akan tercapai, atau bahkan lebih cepat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Umur harapan pencapaian tingkat keberhasilan reforestasi hingga mencapai hutan klimaks (rona awal) adalah 75 tahun mengikuti persamaan *polynomial*, yaitu $Y=0.0011X^2 - 0.0634X + 3.5438$, dengan Y adalah umur tanaman dan X adalah nilai LBDS. Dalam kurun waktu 75 tahun apabila usaha-usaha dalam memperbaiki, mempertahankan, dan meningkatkan fungsi hutan tetap dilakukan dengan baik, konsisten, dan bahkan terus meningkat, dapat dipastikan keberhasilan reforestasi akan tercapai, atau bahkan lebih cepat.

Saran

- (1) Nilai LBDS di hutan alam (rona awal) pada daerah penelitian digunakan sebagai acuan untuk memprediksi keberhasilan reforestasi pada kawasan pertambangan.

- (2) Waktu 75 tahun dapat digunakan sebagai acuan dalam memantau tingkat keberhasilan reforestasi sampai mencapai hutan alam (rona awal) di daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BPPS dan PT INCO khususnya kepada Ir. Aris Priyo Ambodo dan seluruh staf beliau yang telah memberikan dukungan data, dana, pemikiran, dan tenaga dalam penyelesaian penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bem EM and Wieczorkowski P. 2009. Studies of radionuclide concentrations in surface soil in and around fly ash disposal sites. *The Science of The Total Environment*, 220(2-3): 215-222.
- Draper N and Smith H. 1992. *Analisis Regresi Terapan* (Alih bahasa: Bambang Sumantri). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardjowigeno S. 1993. *Kesesuaian Lahan untuk Pengembangan Pertanian, Daerah Rekreasi dan Bangunan*. Bogor: IPB Press.
- Setiadi Y. 2005. *Restoration Degraded Land After Mining Operation*. Bogor: Faculty of Forestry IPB.
- Spurr SH. 1952. *Forest Inventory*. New York: The Ronald Press Company.
- Suwarno, Wahjudin UM, dan Leiwakabessy FM. 2003. *Kesuburan Tanah*. Bogor: Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Petanian Bogor.